

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-094475

(43)Date of publication of application : 12.04.1996

(51)Int.Cl.

G01L 21/00

G01N 21/47

(21)Application number : 06-231732

(71)Applicant : KYUSHU UNIV
ULVAC JAPAN LTD

(22)Date of filing : 27.09.1994

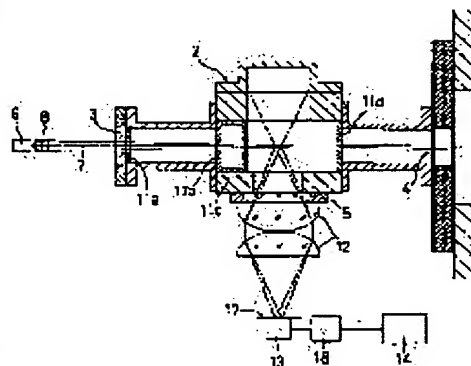
(72)Inventor : MURAOKA KATSUNORI
UCHINO KIICHIRO

(54) GAS PRESSURE MEASURING APPARATUS EMPLOYING LIGHT SCATTERING

(57)Abstract:

PURPOSE: To realize highly accurate noncontact measurement of the gas pressure or the density of gas particle by detecting a laser light scattered by a gas.

CONSTITUTION: An enclosed measuring vessel 2 has an opening 4 for introducing a gas and when it is fixed to the outside of a vacuum vessel 1 through the flange thereof, the pressure is equalized in the vacuum vessel 1 and the measuring vessel 2. A laser light 7 from a semiconductor laser light source 6 is collimated through a collimating lens 8 and introduced through an incident window 3 into the measuring vessel 2. Consequently, neutral particles in the laser light 7 is subjected to Rayleigh scattering by the gas. Since the number of Rayleigh scattered photons is proportional to the density of gas particle, the density of particle is determined by measuring the scattered photons. The scattered light is condensed through a condenser lens 12 disposed oppositely to the introduction window 5 and converted through a detector 13 into an electric signal. The electric signal is fed through a current/voltage conversion circuit 18 to a computer 14 where the signal is accumulated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 21.05.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 18.03.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-94475

(43) 公開日 平成8年 (1996) 4月12日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 21/00	Z			
G 0 1 N 21/47	Z			

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平6-231732

(22) 出願日 平成6年 (1994) 9月27日

特許法第30条第1項適用申請有り 平成6年3月28日～3月31日、社団法人応用物理学会主催の「第41回応用物理学関係連合講演会」において文書をもって発表

(71) 出願人 391012501
九州大学長
福岡県福岡市東区箱崎6丁目10番1号

(71) 出願人 000231464
日本真空技術株式会社
神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(72) 発明者 村岡 克紀
福岡県春日市春日公園6-1 九州大学内

(72) 発明者 内野 喜一郎
福岡県春日市春日公園6-1 九州大学内

(74) 代理人 弁理士 北村 欣一 (外2名)

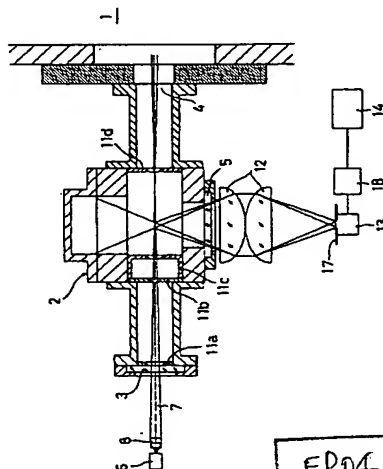
(54) 【発明の名称】 光散乱による気体圧力測定装置

(57) 【要約】

【目的】 レーザー光を使用して非接触で気体圧力或いは気体粒子の密度を精度よく測定できる小型の装置を提供する

【構成】 圧力を測定する気体の導入開口4を有する密閉測定容器2にコリメートしたレーザー光7を導入する入射窓3を設けると共に該密閉測定容器の側方に該気体により散乱したレーザー光の散乱光を導出する導出窓5を設け、該密閉測定容器の外部に導出窓に対向して集光レンズ12を設けてこれで集光した散乱光を検出器13により電気信号に変換し、該レーザー光の光源6として半導体レーザーを設けた

【効果】 光の散乱を用いて圧力或いは粒子密度を非接触式に測るので、腐食性ガスの圧力測定や燃焼ガスの非擾乱測定、気体粒子の局部圧力或いは粒子の密度の測定に好都合であり、半導体レーザーを光源とすることにより装置の寸法を小形化できる



FPO4-0004
-0000-HP
04.4.20
SEARCH REPORT

【特許請求の範囲】

【請求項1】 圧力を測定する気体の導入開口を有する密閉測定容器にコリメートしたレーザー光を導入する入射窓を設けると共に該密閉測定容器の側方に該気体により散乱したレーザー光の散乱光を導出する導出窓を設け、該密閉測定容器の外部に導出窓に対向して集光レンズを設けてこれで集光した散乱光を検出器により電気信号に変換し、該レーザー光の光源として半導体レーザーを設けたことを特徴とする光散乱による気体圧力測定装置。

【請求項2】 上記密閉測定容器の内部に、上記レーザー光の拡がり成分をカットする第1バッフルと、上記入射窓での該レーザー光の乱散乱及び多重反射成分をカットする第2バッフル及び該第2バッフルの内径エッジの反射光が導出窓へ入光することを阻止する第3バッフルを、該レーザー光の進行方向に順次に設けたことを特徴とする請求項1に記載の光散乱による気体圧力測定装置。

【請求項3】 上記検出器にこれよりの信号を演算処理してその結果を表示する計算機を接続したことを特徴とする請求項1に記載の光散乱による気体圧力測定装置。

【請求項4】 上記密閉測定容器に導入されたレーザー光の強さを測定するモニターを設けたことを特徴とする請求項1に記載の光散乱による気体圧力測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、気体の圧力或いは気体粒子の密度を気体に接触することなく計測する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、この種の気体の圧力を計測する装置として、例えば隔膜真空計、熱伝導真空計、電離真空計などが知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 従来の真空計は、被測定気体と触圧子とを直接接触させて測定しており、例えば、半導体の製造プロセスに於いて圧力センサーに対す

$$N_{ph} = (E_L / h\nu) \cdot L \cdot n_s \cdot \sigma_s \cdot \Omega \cdot T_r \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 E_L はレーザーパルス当たりのエネルギー、 $h\nu$ は光子1個のエネルギー、 L は散乱長、 σ_s はレイリー散乱微分断面積、 Ω は受光立体角、 T_r は受光系の透過率である。右辺の各項はそれぞれ既知または測定可能である。

【0008】 本発明の装置では、密閉測定容器の内部で起きるレイリー散乱光が集光レンズにより集められ、これが検出器によりその光量に比例した電気信号として検出されると、気体温度が既知であるのでその信号強度から気体圧力を求めることができる。該光源に波長の短い半導体レーザーを使用することにより、密閉測定容器を小型に構成することができ、真空容器への取り付けに便

る腐食性のあるガス種の圧力測定や、燃焼ガスの非擾乱の測定、さらには気体粒子の局部圧力（あるいは粒子の密度）の測定などの特別の場合には、触圧子が腐食、融解したり、測定を行えない不都合がある。被測定気体と直接接触することなく圧力測定を行えるならば、かかる不都合を解消でき、発明者等は、レーザー光の中性粒子による弾性散乱であるレイリー散乱を利用すれば、大気圧程度から0.1Pa程度の中真空領域までの広い圧力範囲あるいは粒子密度を非接触で測定できる可能性を追究した。圧力測定装置は真空装置に付带的に設けられるものであるから小型であることが好ましい。

【0004】 本発明は、レーザー光を使用して非接触で気体圧力或いは気体粒子の密度を精度よく測定できる小型の装置を提供することを目的とするものである。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明では、圧力を測定する気体の導入開口を有する密閉測定容器にコリメートしたレーザー光を導入する入射窓を設けると共に該密閉測定容器の側方に該気体により散乱したレーザー光の散乱光を導出する導出窓を設け、該密閉測定容器の外部に導出窓に対向して集光レンズを設けてこれで集光した散乱光を検出器により電気信号に変換し、該レーザー光の光源として半導体レーザーを設けることにより、上記の目的を達成するようにした。

【0006】

【作用】 半導体レーザーの光源からコリメートしたレーザー光を密閉測定容器内に導入すると、レーザー光の中性粒子がその内部の気体によりレイリー散乱される。このレイリー散乱の散乱光子数は気体粒子の密度 n_s に比例するので、散乱光子数を測定して粒子密度を求める。温度（絶対温度 $T=273+C$ 、ただし、 C は摂氏温度）は多くの場合他の方法で10%以内の精度で求められるので、圧力 P （ $P=n_s \cdot kT$ 、 k はボルツマン定数）が求められる。

【0007】 レーザー光の1パルス当たりのレイリー散乱の受光光子数 N_{ph} は次式で表される。

$$N_{ph} = (E_L / h\nu) \cdot L \cdot n_s \cdot \sigma_s \cdot \Omega \cdot T_r \quad \dots\dots\dots(1)$$

利になる。

【0009】

【実施例】 本発明の実施例を図1及び図2に基づき具体的に説明すると、これらの実施例は真空容器1の内部の気体圧力を測定する例で、図1及び図2の符号2は反射防止膜を設けたガラスの入射窓3を備えた円筒状の密閉測定容器を示し、図示のものでは全長230mm、内径40mm程度に構成した。該密閉測定容器2は、該入射窓3の反対側の壁面に気体の導入開口4を有し、その周囲のフランジにより該真空容器1の外部に取付けると、該真空容器1の内部の気体が該導入開口4から流入して該真空容器1内と該密閉測定容器2内が同圧になるようにした。

3

5は該密閉測定容器2の側方に設けた導出窓である。

【0010】該入射窓3の外方に半導体レーザーの光源6を設け、該光源6からのレーザー光7をコリメーティングレンズ8によりコリメートし、入射窓3を介して密閉測定容器2の内部へ導入するようにした。該真空容器1の導入開口4と反対側の壁面に射出窓9を設けて外部へレーザー光7を導出し、該射出窓9と対向する位置にレーザー光7の強さを測定するフォトダイオードのモニター10を設けた。該密閉測定容器2の内部には、迷光を抑制するためにレーザー光7が通過する4個のバッフル11a~11dを設け、レーザー光7の最も光源側に設けた第1バッフル11aによりレーザー光7の拡がり成分をカットし、次の第2バッフル11bで該入射窓3での該レーザー光7の乱散乱及び多重反射成分をカットし、次の第3バッフル11cで該第2バッフル11bの内径のエッジの反射光が導出窓5に入光することを防止し、最後の第4バッフル11dで出射しようとする乱散乱光成分を該密閉測定容器2の外部へと逃がすと共に射出側で乱散乱するレーザー光が該密閉測定容器2の内部へ戻らないように、注意深く寸法と位置を決定して配置した。

【0011】該レーザー光7は紙面に対して垂直に偏光して配置し、このレーザー入射方向と偏向方向の両方に対して90°の方向(図1の下方向)に位置した密閉測定容器2の導出窓5から取出される散乱光を1:1の倍率で直径60mmの2枚組の凸レンズ($f=70\text{mm}$)からなる集光レンズ12により集光し、これを検出器13で電気信号に変換した。この信号を電流電圧変換回路18を介してデジタル・オシロスコープ(Tektronix 製2440型)14で観測すると共に、更に、計算機14に取り込み、SN比を向上するための積算を行った。16は、レイリー散乱信号と比較するために設けた隔膜真空計で、2種類のもの(MKS Instruments, Inc. 製、Baratron390型、および日本真空技術=製、LPC501型、以下、それぞれBaratron390およびLPC501と略記する)を用いた。真空容器1の排気系(図示してない)には、油回転ポンプとターボ分子ポンプを使用し、 $5.3 \times 10^{-4}\text{Pa}$ の到達真空度が得られるようにした。隔膜真空計16のゼロ点調整はこの圧力 $5.3 \times 10^{-4}\text{Pa}$ で行った。検出器13には、光電子増倍管(PMT)あるいは半導体デバイスを用いた。17は検出器13の受光面の手前に設けたアパーチャである。

【0012】本発明の装置は、原理的に上限は大気圧以上まで測定可能であり、検出下限はレイリー散乱信号を検出できるレベルまでである。以下に本発明の詳細な実施例を説明する。

【0013】実施例 1

図1および図2に示す装置で、光源6に半導体レーザー励起YLFレーザーの第二高調波(波長523nm、パルス幅7ns)を用いた。出力は0.1mJ、繰り返し周波数は1~

4

10 kHzである。レーザーヘッドの長さは約360mm、レーザービームの出射窓での直径は0.2mm、ビーム発散角は10mrad以下であった。このレーザーは、このようにビーム直径と発散角が小さく、繰り返し周波数は高く、更に波長が可視域にあってレイリー散乱断面積及びPMT(光電子増倍管)の量子効率が高い。そのため、迷光の低減および高SN比を得るのに有利である。レーザービームをコリメートするため、焦点距離 $f=300\text{mm}$ のコリメーティングレンズ8を使用した。検出器13にはPMT(浜松ホトニクスR1333型)を用いた。

【0014】まず、1Pa領域の圧力測定を可能とするため、迷光レベルを抑制する必要がある。そのため、各バッフル11をレーザー光7に触れないように配置し、第1バッフル11aをレーザーのメインビーム以外の拡がり成分をカットするように配置し、第2バッフル11bにより入射窓3でのレーザー光7の乱散乱および多重反射成分をカットした。更に、第2バッフル11bの内径エッジに当たった光が受光系に入らないように第3バッフル11cを配置し、射出側に、出射しようとする乱散乱光成分をなるべく測定容器2の外部へ逃がすと同時に射出側で乱散乱するレーザー光が戻らないように寸法を決定した第4バッフル11dを配置した。PMTの受光面の手前に幅1mm×5mmのアパーチャ17を取付けた。以上の迷光対策により、迷光レベルは窒素ガス圧換算で2.7 Paまで抑えることができた。このレベルでは、1Paの圧力の窒素ガスからの散乱信号の検出において、迷光に起因するショットノイズに対して $S/N=10$ 程度が確保でき(ただし、2560回の信号積算の後で)、同圧力での散乱信号の検出が可能となる。

【0015】真空容器1内に窒素ガスを作動ガスとして導入し、その圧力を $1.3 \sim 1.2 \times 10^3\text{Pa}$ の範囲で変化させ、レイリー散乱信号を観測した。原理的にガス温度および式(1)の右辺の各パラメータの値がわかれば、レイリー散乱信号出力からガス圧力の絶対値を求めることができる。ここでは、レイリー散乱信号出力と高精度の隔膜真空計16(Baratron390、フルスケール $1.3 \times 10^3\text{Pa}$ 、有効分解能フルスケールの 10^{-6} 、公称精度は読みの0.08%)を比較することにした。隔膜真空計(Baratron390)16による圧力指示値とレイリー散乱信号強度との比例関係を $1.3 \sim 1.2 \times 10^3\text{Pa}$ の範囲で調べた結果を図3に示す。その結果として、レイリー散乱信号は圧力と $1.3 \sim 1.2 \times 10^3\text{Pa}$ の広い範囲で比例関係にあることが分かる。隔膜真空計16の圧力値とレイリー散乱信号測定値との関係をより詳細に調べるために、隔膜真空計16の測定範囲の最大値($1.3 \times 10^3\text{Pa}$)近くの $1.2 \times 10^3\text{Pa}$ を圧力の基準点とし、圧力値と散乱信号の積算値が比例して変わるとした45°の直線上の値と散乱信号との差を求めた。直線上の値に対するこの差は、1.3Paの値(45°の直線からの外れは約20%である)を除いて、 $2.7 \sim 1.2 \times 10^3\text{Pa}$ の範囲で7%以内であることが

5

確かめられた。ここで測定値の直線上からのはずれの程度（ばらつき）は、光電子数と積算回数との積の平方根の逆数で評価できる。更にレイリー散乱による圧力測定精度を上げるためには、光電子数を増やすかまたは積算回数を増やせばよい。

【0016】実施例 2

図1、2に示す装置で、光源6に可視光の連続発振半導体レーザー（SpectraDiode Laboratories製、SDL-7431-HI型、出力0.5W、波長680nm）を用いた。比較的低下力の半導体レーザーを光源とする場合、光電子数を確保し、検出器13で発生するショットノイズを抑えるため、連続発振半導体レーザーを幅の長いパルス出力に変調して用いることが必要である。本発明装置で半導体レーザーの駆動電流を制御することにより、連続の光出力をパルス出力に変調した。受光光子数の確保および観測する周波数帯域幅を考慮して変調パルス幅を0.5ms、繰り返し周波数を1kHzに設定した。検出器13にフォトダイオードを用いている場合、増幅器が必要である。負荷抵抗で発生するジョンソンノイズが散乱光信号と一緒に増幅されるので、信号の検出は非常に困難なものとなることが実験で確かめられた。それに対して、内部増幅機能（電流増倍率は300～500倍である）を持つアバランシェフォトダイオード（APD）を用いれば、信号は増幅され、他方、ジョンソンノイズは増幅されないの
で、SN比は大幅に改善できる。本発明装置では、検出器13には、APD（Advanced Photonix Inc. 製、TL15CA型）を用いた。APDで検出した光電流を電圧信号に変換するため、電流電圧変換回路18に高圧電源、プリアンプ一体型モジュールAPM-22を用いた。広がり角の大きな半導体レーザービームをコリメートするため、焦点距離 $f=8\text{mm}$ 、有効口径8mm、開口数0.5のコリメーティングレンズ8を用いた。小型の密閉測定容器2および散乱光集光レンズ12は実施例1のものと同一ものを用いた。測定は 10^4 Pa程度の圧力から始めた。このため、実施例1の場合で用いたものより圧力測定範囲が高い圧力側に広い隔膜真空計16（LPC501、測定範囲 $13 \sim 1.3 \times 10^5$ Pa）を比較に用いた。

【0017】まず、数百Pa領域の圧力測定を可能にするため、迷光レベルの低減をはかった。実施例1の場合の迷光対策と同様に、パッフルの配置および内径を注意深く調整し、また受光側のAPDの検出器13に8mm×6mmのアパーチャ17を取付けた結果、迷光レベルを窒素ガス圧換算で約 1.3×10^2 Paまで抑えた。

【0018】次に、窒素ガスを作動ガスとして、ガス圧を $1.3 \times 10^2 \sim 6.7 \times 10^5$ Paの範囲で変化させ、レイリー散乱信号と隔膜真空計16による圧力との比例関係を調べた。APDの検出器13の電流増倍率は500倍に設定した。各圧力点で、2560回の積算を行って得られた波形を、更にオシロスコープ時間軸の125点を取って移動平均処理をした（処理時間0.5ms）。その結果の波形

6

を、 $1.3 \times 10^2 \sim 1.3 \times 10^5$ の範囲で図4に示したが、 1.3×10^2 Paまでのレイリー散乱信号が明確に検出できた。 $1.3 \times 10^2 \sim 6.7 \times 10^5$ Paの範囲で、レイリー散乱出力（図4の波形のピーク値から迷光を引いた結果）と隔膜真空計16で測定した圧力との関係を図5に示した。 6.7×10^5 Paを基準とした45°の直線上の点からの各データ点の外れは9%以内にある。散乱信号のゆらぎの要因は、APDの光電面で発生したショットノイズによって決まっている。ショットノイズはAPDの冷却および周波数帯域幅の制限により改善できるので、それにより圧力検出下限が更に下がる可能性がある。

【0019】本発明の装置により、プラズマなどの電離気体の自由電子の密度（レーザー光の電子によるトムソン散乱を利用して）を測ることも考えられる。また、出力の高いレーザーを用いれば、レイリー散乱による圧力測定精度を向上できるので、本発明装置を中真空領域の標準真空計として適用することも考えられる。

【0020】

【発明の効果】以上のように本発明によるときは、光の散乱を用いて圧力或いは粒子密度を非接触式に測るので、腐食性ガスの圧力測定や燃焼ガスの非擾乱測定、気体粒子の局部圧力或いは粒子の密度の測定に好都合であり、半導体レーザーを光源とすることにより装置の寸法を小形化でき、請求項2のパッフルの配列とすることにより散乱光を正確に導出することができて正確な測定が可能になる等の効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例の全体側面図

【図2】 図1の要部の断面図

30 【図3】 実施例1に於ける隔膜真空計による圧力指示値と本発明によるレイリー散乱信号強度との比例関係を示す線図

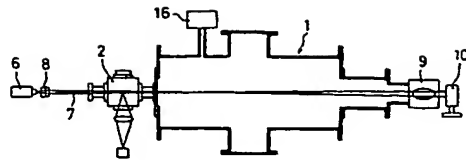
【図4】 実施例2に於ける本発明装置のレイリー散乱信号と隔膜真空計による圧力との比例関係を示す線図

【図5】 実施例2に於けるレイリー散乱信号出力の波形のピーク値から迷光を引いた結果と隔膜真空計による圧力との関係を示す線図

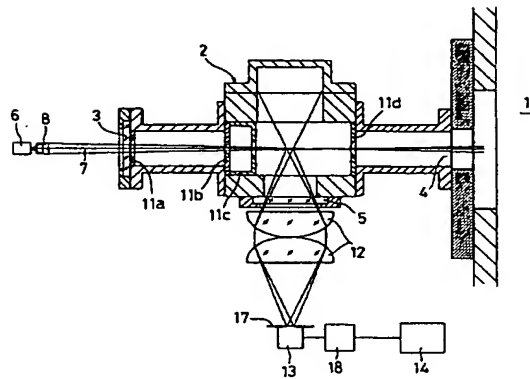
【符号の説明】

1 真空容器	2 密閉測定容器
3 入射窓	
4 導入開口	5 導出窓
6 レーザー光源	
7 レーザー光	8 コリメーティングレンズ
9 射出窓	
10 モニター	11a～11d 第1～第4パッフル
12 集光レンズ	13 検出器
14 計算機	
17 アパーチャ	18 電流電圧変換器

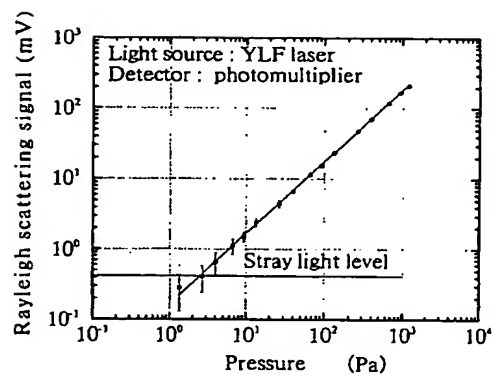
【図1】



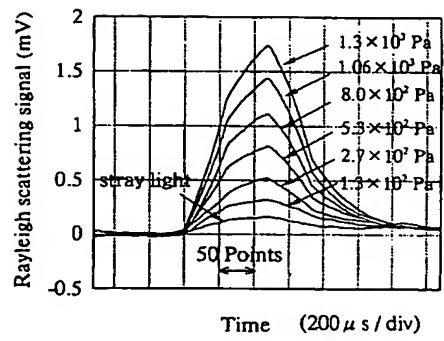
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

